DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2025.01.002

基于STM32大蒜联合收获机监测系统设计与试验

王永健[1,2]，丁想[1,2]，李骅[1,2*]，SAMUEL Mbugua Nyambura[1,2]，李玉青[1,2]，葛艳艳[1,2]，仇世龙[1,2]，冯学斌[1,2]

（1. 南京农业大学工学院，江苏南京，210031；2. 江苏省智能化农业装备重点实验室，江苏南京，210031）

摘要：大蒜联合收获机已基本实现了大蒜的机械化收获，但其智能化水平较低，在作业过程中易发生偏航、溢仓及堵塞等问题，影响整机的作业质量和收获效率。针对这些问题，本研究设计了一套大蒜联合收获机的实时监测系统，能够实时、准确监测作业过程中的偏航、溢仓和堵塞故障问题，并进行语音播报提醒。该系统主要包括对行辅助模块、产量监测模块、故障诊断模块以及STM32单片机等。其中，对行辅助使用MPU6050陀螺仪监测收获机航向信息，与设定的航向角预警、报警阈值进行比较，判断收获机是否偏离正常作业路线；产量监测将单粒大蒜质量与统计的大蒜总数相乘计算出已收获的蒜头总质量，并与设定的满仓阈值进行比较，判断收集仓是否满仓；故障诊断通过霍尔传感器收集夹持输送机构从动轮的转速，并与设定阈值进行比较，判断是否发生堵塞。通过室内调试，对行辅助模块最大误差值为1.3°，最小误差值为0.2°；产量监测模块监测计数准确率为96.7%；故障诊断模块识别转速平均误差值为0.8 r/min，误差率为0.4%，能够准确监测夹持装置堵塞时从动轮转速的变化状况。田间试验结果表明设计的监测系统具备可行性、准确性和稳定性。通过该研究，本监测系统可以长时间稳定工作，并在大蒜收获机出现偏航、溢仓及堵塞故障时，及时发出报警信息，能够显著改善传统大蒜收获机的作业质量，提升作业效率。

关键词：大蒜；收获机；对行辅助；实时监测；阈值

中图分类号：S24；S225.7+9 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-7217（2025）01-0015-10

王永健，丁想，李骅，SAMUEL Mbugua Nyambura，李玉青，葛艳艳，仇世龙，冯学斌. 基于STM32大蒜联合收获机监测系统设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2025，6(1)：15－24

WANG Yongjian，DING Xiang，LI Hua，SAMUEL Mbugua Nyambura，LI Yuqing，GE Yanyan，QIU Shilong，FENG Xuebin. Design and experiment of STM32-based monitoring system for garlic combine harvester [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization，2025，6(1)：15－24

0 引言

大蒜是我国非常重要的经济作物，其中江苏、山东、河南、新疆、陕西5省、自治区的种植面积最大，约占我国大蒜总种植面积的90%以上[1-2]。目前，我国大蒜机械化、智能化收获水平较低，制约了大蒜的收获质量[3]。在作业的过程中，传统的大蒜收获机普遍存在着偏航、溢仓、堵塞等问题，严重影响了整机的作业效果。

应用智能化技术，可有效克服偏航、溢仓、堵塞等问题。目前，在对行辅助方面，主要依靠机器视觉[4-6]和机械式感知[7]，针对薯类[8]、棉花[9]、水稻[10-11]、玉米[12]等作物进行识别和感知。但是，大蒜植株的蒜叶较为分散，植株个体不易准确识别，对行辅助感知仍需进一步探究。产量监测方面，针对大豆[13]、谷物[14]、花生[15]、水稻[16]等作物的监测较多，大多依靠称重传感器获得作物掉入收集仓中的冲击力，从而换算出重量[17]。大蒜收获单颗进仓的方式并不适用大流量的监测技术，且收获过程中的土壤、杂质无法有效去除，影响称重精度。故障诊断方面，一方面通过各类传感器感知信号，进行信号处理[18-20]，进行故障诊断；另一方面通过算法[21-23]改进监测技术，提升故障监测的准确性。这些研究为大蒜收获机监测系统的设计提供了思路。

本研究根据大蒜收获机的现有状态和实际的机械化收获需求，引入自动监测技术，研发了一套用于监测大蒜收获机作业状态的实时监测系统，实现大蒜收获机偏航、溢仓及堵塞的自动监测。

收稿日期：2024-04-30 修回日期：2024-06-21

基金项目：国家重点研发计划(2017YFD0701302)；江苏省现代农机装备与技术示范推广项目(NJ2021-12，NJ2022-09)

第一作者：王永健，男，1983年生，江苏启东人，博士，副教授；研究方向为智能化种收关键技术。E-mail：yjwang@njau.edu.cn

*通信作者：李骅，男，1972年生，湖北麻城人，博士，教授；研究方向为精准种植与收获技术及智能装备。E-mail：lihua@njau.edu.cn

1 监测对象的确定

1.1 航向角阈值

航向角阈值的确定,可以提升对行辅助模块的对行精度。传统的大蒜收获机前进过程中,一方面因大蒜种植农艺不匹配,种植行直线度不高,另一方面因地面起伏或驾驶技术不成熟,导致收获机扶禾机构无法与大蒜种植行对齐造成漏收,也易导致扶禾机构喂入多行大蒜秧苗而导致堵塞。基于航向角实时监测的对行辅助模块可有效克服漏收、堵塞等问题。

对行辅助模块利用前端加装的航向角监测传感器,在作业过程中实时采集前进航向角,以便辅助驾驶员调控对行方向。采集数据由 STM32 单片机分析处理,若实时航向角大于设定的航向角阈值,则判定为偏航。

航向角阈值的设定与大蒜的种植农艺有关,以江苏省邳州市为例,大蒜行距为 22 cm,株距一般在 12～18 cm 之间。大蒜收获机的前进速度分 3 挡,分别为 0.35 m/s、0.58 m/s 和 0.82 m/s。速度越快,则纠偏越紧迫,因此取 0.82 m/s 作为航向角阈值确定的依据。

考虑到当前实际的大蒜收获现状,本研究设计的对行辅助系统仅用于提醒驾驶员避免因疲劳驾驶等原因导致偏航发生。根据实时的监测结果,结合偏航预警的语音播报功能,提醒驾驶员及时调整前进方向。经验娴熟的驾驶员从收到信号到做出反应需要约 0.8 s,结合监测系统的响应时间,总响应时间设为 1 s,此时机具前进 0.82 m。

图 1(a)为株距 12 cm 航向角阈值测定示意图,其中圆圈代表大蒜植株位置,1 s 内机具约前进至第 7 株大蒜。当大蒜收获机偏移角小于$\angle AOB$时,收获机工作时则不会损伤到它行的大蒜植株。为了简化计算将航向角阈值设为$\angle A_1OB_1$,由株行距可得$\angle A_1OB_1$数值为 14.68°。同理 18 cm 航向角阈值为 13.74°,即航向角阈值取值范围为 0～13.74°。为了提高对行辅助模块的监测精度,将航向角报警阈值设置为 10°,预警阈值设为 5°。

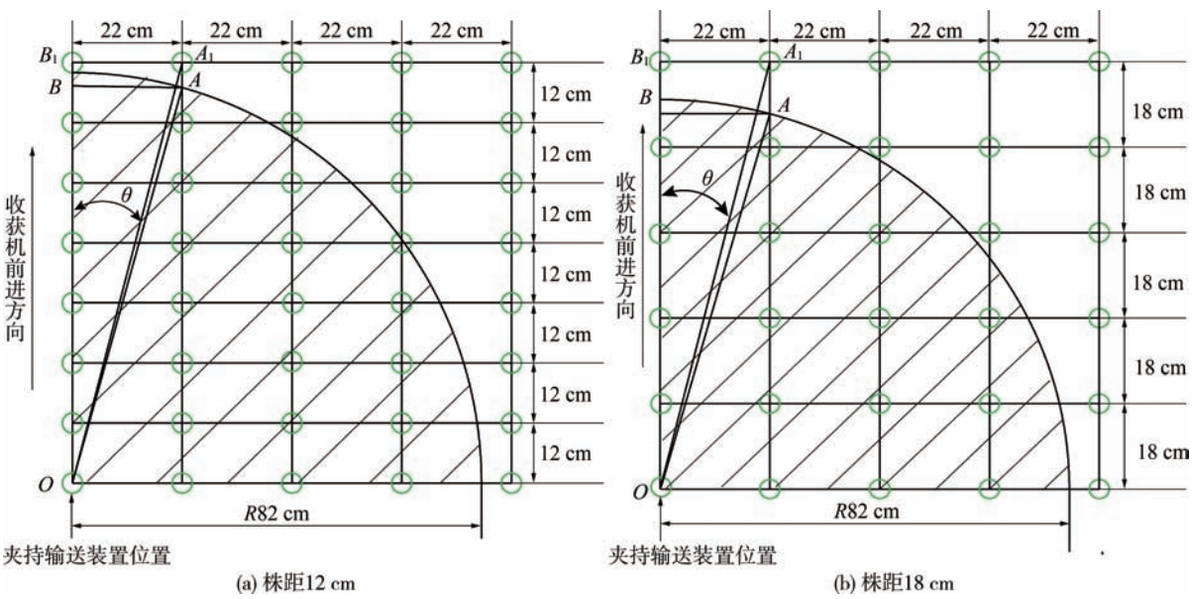


图 1 航向角阈值测定示意图

Figure 1 Schematic diagram of heading angle threshold determination

1.2 大蒜单粒重

蒜头单粒重的确定,可以提升产量监测模块的监测精度。传统的蒜头收集仓体积有限,仓满之后蒜头溢出,落入其他工作部件而夹损,或掉入地面被机具碾压致损,影响收获的质量。产量监测模块可有效克服溢仓问题。

产量监测模块利用安装于夹持输送机构的光电传感器,获取输送过程中大蒜的个数,结合大蒜单粒重估算出总重。根据收集仓的容积和承重,辅助提醒驾驶员更换收集仓。光电传感器采集的信号数据传递给 STM32 单片机进行数据处理,并将该结果显示在 LCD 显示屏上。

为了准确进行产量的估算,单粒重的测量非常重要。选取不同环境的成熟期邳州白蒜蒜田 5 块,分别标记 5 块蒜田为 DS. NO. 1—DS. NO. 5。

以第一取样区域 DS. NO. 1 为例,随机选取 5 个区域,每个区域包含大蒜植株 10 行 10 列共 100 棵,将每个取样区域内的大蒜植株按照大蒜实际收获过程切去大蒜茎秆和根须,测量每个蒜的质量,并取平均值。

详细数据如表 1 所示,平均单粒重约为 133.8 g。

表 1　大蒜单粒重

Table 1　Garlic single grain weight

取样区域	最大值/g	最小值/g	平均值/g	标准差/g
DS.NO.1	201.35	81.46	130.47	3.83
DS.NO.2	198.87	90.43	138.36	4.04
DS.NO.3	188.62	97.66	132.88	2.16
DS.NO.4	203.64	84.72	133.45	3.14
DS.NO.5	192.57	94.44	134.03	1.57

1.3　夹持从动轮转速

夹持从动轮转速的大小，可有效反映实际堵塞故障发生时的堵塞程度。传统的大蒜收获机，夹持输送机构是易发生堵塞的关键位置，监测从动轮转速变化的故障诊断模块可有效避免堵塞持续恶化。

夹持输送装置的动力由位于收获机上部的两个主动轮提供，与之对应的两个从动轮在V型带的作用下随之转动。当大蒜收获机夹持输送装置正常工作时，从动轮和主动轮转速相同；当夹持输送装置发生故障时，V型带发生打滑导致从动轮转速降低，或者堵塞和断裂导致从动轮转速为零。这两种状况都会导致从动轮转速低于转速阈值，当监测系统监测到从动轮转速低于转速阈值时，判定夹持输送装置发生堵塞，并通过上位机故障指示灯和扬声器播报的方式提醒驾驶员。

大蒜收获机正常作业时，主动轮的设计转速约为180 r/min。在作业过程中，驾驶员会根据实际的大蒜植株状态，控制整机的前进速度，进而主、从动轮转速随之发生变化。为避免识别前进速度变化导致转速变慢的错误，设置从动轮转速阈值为主动轮转速设计值的1/3，即60 r/min。

2　监测系统的设计

2.1　总体设计

本系统下位机采用STM32单片机作为核心控制器，上位机采用LabVIEW软件平台设计用户界面以实时显示大蒜收获机各工作部件的状态信息。下位机对对行辅助模块、产量监测模块和故障诊断模块传感器采集的数据进行分析、处理并将预警信息传输给语音播报模块，同时将信息汇总后通过串口通讯的方式传输至上位机；上位机接收到数据后将其以波形图表的方式显示在用户界面的工作状态显示区，并将大蒜收获机的偏航、产量和故障等信息以工作状态指示灯闪烁的方式显示出来。监测系统结构如图2所示。

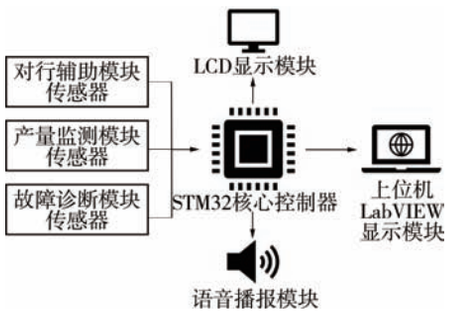


图 2　大蒜收获机监测系统结构示意图

Figure 2　Diagram of the structure of the monitoring system for garlic harvesters

2.2　硬件系统

硬件安装如图3所示，包括：航向角监测传感器、光电计数传感器、夹持输送装置从动轮1转速传感器和夹持输送装置从动轮2转速传感器，下位机、上位机及扬声器等。硬件选型如表2所示。

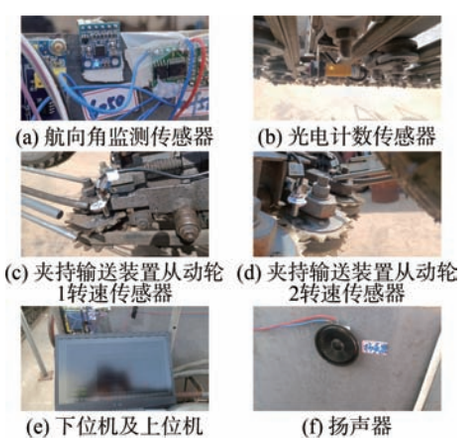


图 3　大蒜收获机硬件安装图

Figure 3　Garlic harvester hardware installation diagram

表 2　硬件选型表

Table 2　Hardware selection chart

硬件选择	核心器件	安装位置	作用
控制器	STM32F103RCT6	收获机隔板背面	处理各模块信号，与设定参数阈值对比判断相关工作部件是否发生故障
对行辅助模块	MPU6050传感器	收获机前端	实时采集收获机前进过程中的航向信息
产量监测模块	E18-D80NK型光电传感器	收获机夹持输送装置	对收获的大蒜个数进行计数
故障诊断模块	NJK-5001C型霍尔传感器	夹持输送装置的从动轮上方0～10 mm处	监测从动轮转速
语音模块	WT588D-U	收获机隔板背面	语音播报故障情况

2.3 软件系统

上位机主界面如图4所示,左侧一栏实时显示大蒜收获机的前进航向角、产量信息和从动轮转速信息。右侧的波形图表可以显示上位机接收到的大蒜收获机关键部位实时工作数据,包括:实时航向角、产量、从动轮转速。设置了4个红绿双色指示灯以显示实时航向角、产量和转速监测的作业状态,红灯表示故障,绿灯表示正常。其中,实时航向角设置了黄色预警功能,预警的阈值设为5°。图5为系统控制流程图。

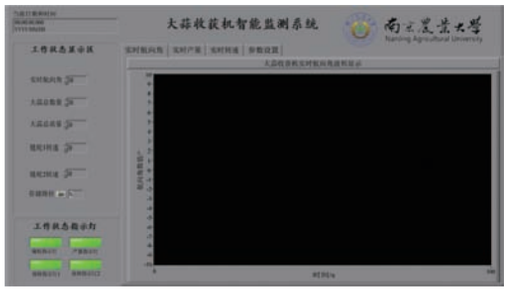


图4 上位机主界面

Figure 4 Upper computer main interface

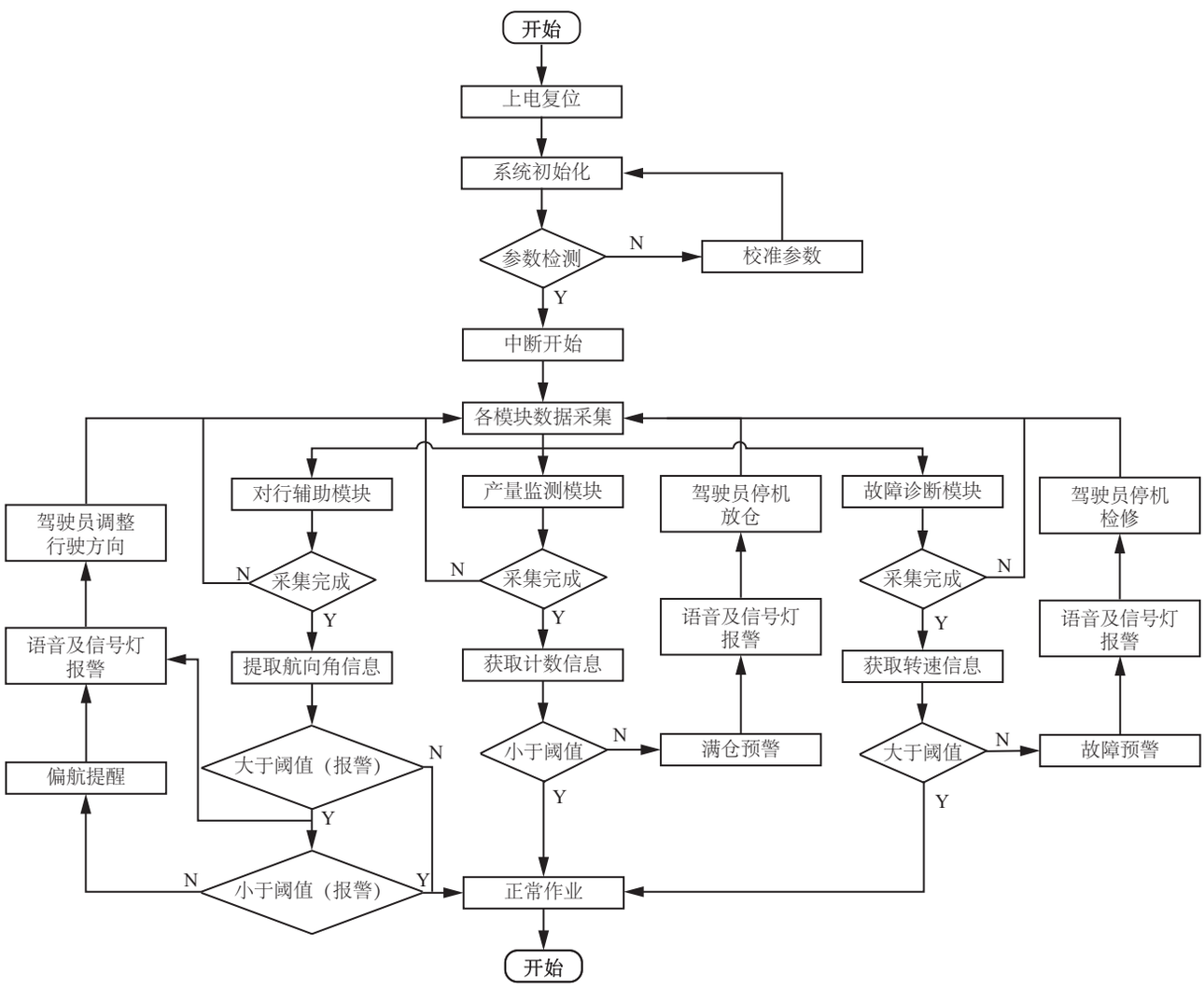


图5 主控制程序流程图

Figure 5 Main control program flow chart

3 监测系统的调试

3.1 对行辅助模块

对行辅助模块调试如图6所示,手动将MPU6050陀螺仪移动至新位置,以陀螺仪左下角为参考点,连接参考点的前后两个位置,测量偏转角度,并与LCD显示屏上的数字对比。

测量结果如表3所示。对行辅助模块在这10次测试中均能实现实时航向角的采集,且最大误差值为1.3°,最小误差值为0.2°,误差值在允许范围之内。

3.2 产量监测模块

使用PU材质大蒜假苗模拟大蒜经过夹持输送装置通过光电传感器,人工投喂的速度和间隔模拟真实的收获机前进速度和大蒜株距,并使用正常的机具作业参数,假苗各部分尺寸及颜色均与真实蒜苗尺寸与颜色相近。当监测到大蒜假苗时,光电传感器指示灯

亮红灯，并进行计数。试验过程中，投喂50株假苗，记录产量监测模块的假苗总数和总重量，共测试50组。

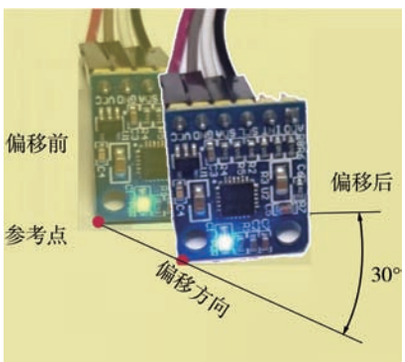


图6　MPU6050测试示意图

Figure 6　MPU6050 test schematic

表3　对行辅助模块测试数据

Table 3　Test data of line auxiliary module

编号	度量角度/(°)	实测角度/(°)	误差值/(°)
1	5.0	4.7	0.3
2	15.0	14.4	0.6
3	30.0	28.8	0.2
4	45.0	44.7	0.3
5	60.0	59.8	0.2
6	90.0	88.7	1.3
7	115.0	114.7	0.3
8	135.0	134.1	0.9
9	150.0	149.7	0.3
10	175.0	174.8	0.2

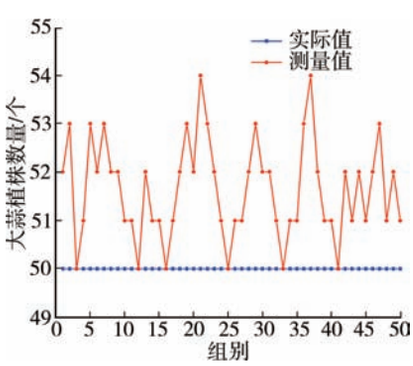


图7　产量监测模块测试误差图

Figure 7　Yield monitoring module test error plot

产量监测误差结果如图7所示。产量监测模块计数的50组大蒜植株中，2组计数数量为54，误差为8%；8组计数数值为53，误差为6%；16组计数数值为52，误差为4%；18组计数数值为51，误差为2%；6组计数数值为50，误差为0。平均误差为3.3%，整体准确率96.7%。本方法以计数的方式，利用大蒜平均粒重估算产量，排除了土壤、杂质的干扰，测量数据更加精准。此外，部分地区收蒜之后直接进行田间晾晒，计数估重的方法避免了收集仓拆除后无法称重的问题。

3.3　故障诊断模块

故障诊断模块调试如图8所示，将霍尔传感器安装在木质支架上，小磁片焊接在夹持输送机构前端的右轮上，霍尔传感器正对着小磁片，距离为5 mm。保持单行大蒜收获机连续空转10 min，每30 s输出一次蒜叶右轮的转速，并使用VC6234P非接触式转速测量仪以相同的时间间隔，测量右轮的转速作为故障诊断模块的参考转速，对比两种方法测得转速的差值，判断转速采集程序能否正常运行。

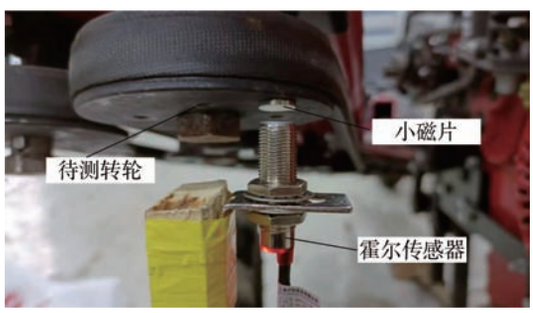


图8　霍尔传感器测试示意图

Figure 8　Hall sensor test schematic

测试结果如表4所示，经过10 min不停机测试获得20组数据，测得转速基本保持在182～191 r/min之间。测速仪测得转速平均值为185.4 r/min，故障诊断模块测得转速平均值为184.6 r/min，差值为0.8 r/min，误差约0.4%，误差值在允许范围之内。

为模拟输送装置的堵塞，主动轮转速180 r/min稳定运行一段时间后，降至60 r/min以下。当主动轮转速发生变化时，故障诊断模块监测的从动轮转速逐渐下降，最后转速与主动轮转速相同，实时的转速变化曲线也可以在上位机中同步显示。图9为转速突变过程中测试的一组曲线，转速初始值为181 r/min，调整后的转速为56 r/min，此时开始报警。

3.4　语音播报模块

WT588D-U语音播报模块与对行辅助模块、产量监测模块和故障诊断模块密切相关，在调试这3种模块时也可以附带调试语音播报模块，测试结果如表5所示。其中，对行辅助模块报警阈值为10°、产量监测模块报警阈值设置为1 000个、故障诊断模块报警阈值设置为60 r/min。经测试，WT588D-U语音播报模块工作正常。

表 4 故障诊断模块转速测试数据

Table 4 Fault diagnostic module speed test data

组别	时间节点/min	测速仪所测转速/(r·min^{-1})	故障诊断模块所测转速/(r·min^{-1})	误差/(r·min^{-1})
1	0.5	187	189	2
2	1.0	182	187	5
3	1.5	184	187	3
4	2.0	181	183	2
5	2.5	185	191	6
6	3.0	187	188	1
7	3.5	187	184	3
8	4.0	179	181	2
9	4.5	185	186	1
10	5.0	187	189	2
11	5.5	181	183	2
12	6.0	181	186	5
13	6.5	183	190	7
14	7.0	182	184	2
15	7.5	182	184	2
16	8.0	180	181	1
17	8.5	181	183	2
18	9.0	183	189	6
19	9.5	183	185	2
20	10.0	181	182	1

表 5 WT588D-U语音播报模块测试数据

Table 5 WT588D-U voice announcement module test data

编号	测试模块	测试数值/个	是否达到报警阈值	是否语音播报	是否为设定报警音
1	对行辅助模块	4.7	否	否	/
2	对行辅助模块	15.6	是	是	是
3	对行辅助模块	30.2	是	是	是
4	对行辅助模块	44.7	是	是	是
5	对行辅助模块	59.8	是	是	是
6	产量监测模块	20	否	否	/
7	产量监测模块	340	否	否	/
8	产量监测模块	650	否	否	/
9	产量监测模块	800	否	否	/
10	产量监测模块	1 010	是	是	是
11	故障诊断模块	0	是	是	是
12	故障诊断模块	56	是	是	是
13	故障诊断模块	187	否	否	/
14	故障诊断模块	192	否	否	/
15	故障诊断模块	185	否	否	/

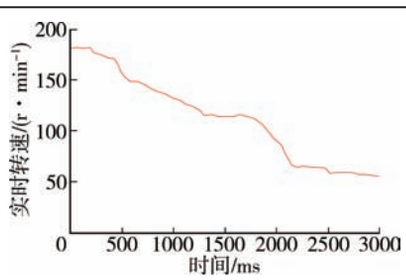


图 9 故障模拟转速测试

Figure 9 Speed test of the fault simulation

4 监测系统的田间试验

田间试验地点为江苏省徐州市邳州市丰县的大蒜种植田,收获对象为成熟的邳州白蒜。进场前准备如图 10 所示。串口波特率设置为 115 200 bps、停止位为 1、有效数据位为 8 位、无奇偶校验位;航向角阈值、计数预警值、转速阈值分别设置为 10°、1 000 个和 60 r/min。

4.1 系统报警功能测试

4.1.1 偏航报警

在试验田中,大蒜的种植行方向为未发生航向

角偏转的初始前进方向，设当前航向角为0°。调整上位机显示的实时航向角，关注上位机界面偏航预警灯是否发生颜色变化、扬声器是否播报偏航信息。

表6为对行辅助模块偏航报警测试结果，当大蒜收获机偏航角度在0°～5°时，上位机监测界面偏航指示灯颜色均保持绿色，扬声器无声音发出；当大蒜偏航角度在5°～10°时，上位机监测界面偏航指示灯颜色变成黄色，扬声器无声音发出；当大蒜收获机偏航角度在10°以上时，上位机监测界面偏航指示灯变成红色，扬声器均成功播报“已偏航，请调整！”提示音。



图10　田间试验进场准备

Figure 10　Preparation for field trial entry

表6　对行辅助模块报警功能测试结果

Table 6　Test results of the alarm function of the line-assist module

编号	偏航角度/(°)	指示灯颜色	扬声器播报声音
1	0.7	绿色	无
2	3.6	绿色	无
3	9.8	黄色	无
4	11.3	红色	已偏航，请调整！
5	14.6	红色	已偏航，请调整！
6	15.8	红色	已偏航，请调整！
7	23.5	红色	已偏航，请调整！
8	36.3	红色	已偏航，请调整！
9	40.1	红色	已偏航，请调整！

4.1.2　满仓报警

保持大蒜收获机直行作业，当上位机显示的蒜头个数为1 000时，产量指示灯颜色由绿色转变为红色，如图11(a)所示，扬声器播报“蒜仓已满，请开仓！”的提示音。

4.1.3　堵塞报警

由于田间试验过程中大蒜收获机并没有堵塞情况的发生，因此采用停机的方式模拟大蒜收获机夹持输送装置发生堵塞的情况。如图11(b)所示，故障指示灯1表示的是夹持输送装置左侧链轮的工作状态，故障指示灯2表示的是夹持输送装置右侧链轮的工作状态。正常工作时，故障指示灯1和故障指示灯2颜色均为绿色；停机后夹持输送装置转速为0，此时故障指示灯转红，扬声器模块播报“已堵塞，请停机！”的提示音。



(a) 产量指示灯处于报警状态　　(b) 故障指示灯处于报警状态

图11　上位机指示灯状态图

Figure 11　Indicator status diagram of the upper computer

4.2　系统稳定性测试

保持系统长时工作，每隔1 h检查1次系统各模块工作是否正常，记录如表7所示。

由表7可知，该系统各模块均正常工作，系统稳定性较好。

表7　系统稳定性测试结果记录表

Table 7　System stability test results record sheet

时间	对行辅助模块	产量监测模块	故障诊断模块	语音播报模块
8:00	正常	正常	正常	正常
9:00	正常	正常	正常	正常
10:00	正常	正常	正常	正常
11:00	正常	正常	正常	正常
13:00	正常	正常	正常	正常
14:00	正常	正常	正常	正常
15:00	正常	正常	正常	正常
16:00	正常	正常	正常	正常
17:00	正常	正常	正常	正常

5　结论

本研究针对传统大蒜收获机偏航、溢仓和堵塞等问题，研发了一套大蒜收获机实时监测系统，实现了对大蒜收获机辅助对行、产量监测以及夹持机构堵塞故障的诊断，并通过语音模块进行实时提醒。主要结论如下：

1)通过对大蒜收获机收获方式及种植农艺参数，确定收获机航向角阈值为10°；通过熟期邳州白蒜蒜头进行单粒重测试，确定大蒜平均单粒重约为133.8 g；

通过对夹持装置转速与收获机前进速度关系及夹持装置堵塞分析,确定夹持装置堵塞故障的转速阈值为60 r/min。

2)经过调试,对行辅助模块识别角度最大误差值为1.3°,最小误差值为0.2°;产量监测模块在正常工作范围内准确率高达96.7%;故障诊断模块所测转速平均差值为0.8 r/min;语音播报模块准确率100%。

3)田间试验表明,本研究所设计的监测系统能够准确、及时做出报警信号,且具有较好的稳定性,在一定程度上满足田间使用的需求。

参 考 文 献

[1] 王旭,马越,赵晓燕,等. 不同颜色大蒜品质分析[J]. 食品工业,2021,42(2):183-186.
WANG Xu, MA Yue, ZHAO Xiaoyan, et al. Storage quality analysis of garlic with different colors [J]. The Food Industry, 2021, 42(2): 183-186.

[2] 赵玉峰,周梅芝. 徐州地区大蒜栽培技术[J]. 现代化农业,2020(11):32-33.

[3] 胡志超,吴峰,王海鸥,等. 国内外大蒜收获机械现状[J]. 农业机械,2007(12):47-49.

[4] DE SILVA R, CIELNIAK G, GAO J F. Vision based crop row navigation under varying field conditions in arable fields [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 217: 108581.

[5] 韩长杰,郑康,赵学观,等. 大田甘蓝作物行识别与对行喷雾控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2022,53(6):89-101.
HAN Changjie, ZHENG Kang, ZHAO Xueguan, et al. Design and experiment of row identification and row-oriented spray control system for field cabbage crops [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(6): 89-101.

[6] 王侨,孟志军,付卫强,等. 基于机器视觉的玉米苗期多条作物行线检测算法[J]. 农业机械学报,2021,52(4):208-220.
WANG Qiao, MENG Zhijun, FU Weiqiang, et al. Detection algorithm of multiple crop row lines based on machine vision in maize seedling stage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(4): 208-220.

[7] 张凯良,胡勇,杨丽,等. 玉米收获机自动对行系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(2):103-114.
ZHANG Kailiang, HU Yong, YANG Li, et al. Design and experiment of auto-follow row system for corn harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 103-114.

[8] 李涛,周进,徐文艺,等. 根茎类作物收获机自动对行系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2019,50(11):102-110.
LI Tao, ZHOU Jin, XU Wenyi, et al. Design and test of auto-follow row system employed in root and stem crops harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(11): 102-110.

[9] 张晋国,郑超,赵金,等. 棉花打顶机自动对行装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2021,52(7):93-101.
ZHANG Jinguo, ZHENG Chao, ZHAO Jin, et al. Design and experiment of auto-follow row device for cotton topping machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(7): 93-101.

[10] LIN S M, JIANG Y, CHEN X S, et al. Automatic detection of plant rows for a transplanter in paddy field using faster R-CNN [J]. IEEE Access, 2020, 8: 147231-147240.

[11] 陈学深,熊悦淞,齐龙,等. 基于触感引导的小型水田行进底盘自动对行方法[J]. 农业工程学报,2022,38(21):8-15.
CHEN Xueshen, XIONG Yuesong, QI Long, et al. Design and experiment of the tactile guidance system for the automatic alignment of small paddy moving chassis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(21): 8-15.

[12] YANG Y, ZHOU Y, YUE X, et al. Real-time detection of crop rows in maize fields based on autonomous extraction of ROI [J]. Expert Systems with Applications, 2023, 213: 118826.

[13] 马鑫,王熙,王新忠,等. 基于微波的产量监测传感器设计与试验[J]. 农机化研究,2022,44(12):163-169.
MA Xin, WANG Xi, WANG Xinzhong, et al. Design and test of yield monitoring sensor based on microwave [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022, 44(12): 163-169.

[14] 耿端阳,谭德蕾,苏国梁,等. 压力式谷物产量监测系统优化与试验验证[J]. 农业工程学报,2021,37(9):245-252.
GENG Duanyang, TAN Delei, SU Guoliang, et al. Optimization and experimental verification of grain yield monitoring system based on pressure sensors [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(9): 245-252.

[15] BIDESE-PUHL R, BUTTS C L, REWIS M, et al. An mmWave radar-based mass flow sensor using machine learning towards a peanut yield monitor [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 215: 108340.

[16] SUN Y F, LIU R J, ZHANG M, et al. Design of feed rate monitoring system and estimation method for yield distribution information on combine harvester [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 201: 107322.

[17] LIU R J, SUN Y F, LI M Z, et al. Development and application experiments of a grain yield monitoring system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 195: 106851.

[18] MA Z, JIANG S, LI Y M, et al. Recognition methods of threshing load conditions based on machine learning algorithms [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 200: 107250.

[19] 徐文龙. 电子技术在谷物联合收割机上的应用[J]. 南方农机, 2020, 51(20): 33－34.

[20] 冯映, 聂一洲, 高刚毅. 农业机械故障诊断技术研究现状及展望[J]. 南方农机, 2020, 51(7): 51, 53.

[21] 李宁. 基于大数据的农业机械设备运行状态远程监测方法[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(1): 176－178.
LI Ning. Remote monitoring method of agricultural machinery operation state based on big data [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2023, 59(1): 176－178.

[22] 高霞. 基于改进SOM神经网络的农机液压系统故障诊断方法[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 128－132.
GAO Xia. Fault diagnosis method for hydraulic system of agricultural machinery based on improved SOM neural network [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(3): 128－132.

[23] 曹智军. 农业机械设备液压元件故障诊断系统设计与应用[J]. 农机化研究, 2020, 42(1): 255－260.
CAO Zhijun. Design and application on the fault diagnosis system for hydraulic components of agricultural machinery equipment [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(1): 255－260.

Design and experiment of STM32-based monitoring system for garlic combine harvester

WANG Yongjian[1, 2], DING Xiang[1, 2], LI Hua[1, 2*], SAMUEL Mbugua Nyambura[1, 2], LI Yuqing[1, 2], GE Yanyan[1, 2], QIU Shilong[1, 2], FENG Xuebin[1, 2]

(1. *College of Engineering Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210031, *China*; 2. *Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment in Jiangsu Province*, *Nanjing* 210031, *China*)

Abstract: The garlic combine harvester has essentially realized the mechanized harvesting of garlic. However, its intelligence level is relatively low. During the operation, problems such as yaw, overflow and blockage are prone to occur, which affect the operation quality and harvesting efficiency of the whole machine. To address these issues, this paper presents an STM32-Based real-time monitoring system for garlic combine harvesters, which can monitor the yawing, overflow, and blockage failure problems in real-time with high accuracy, and can also provide voice broadcast reminders. The system comprised a row assist modules, a yield monitoring module, a fault diagnosis module and an STM32 microcontroller. The row assist modules utilized an MPU6050 gyroscope to ascertain the direction of the harvester, which was then compared with the set direction angle warning and alarm threshold to determine whether the harvester had deviated from the normal operational route. The yield monitoring module multiplied the weight of a single garlic by the total number of garlic counts to calculate the total weight of the harvested garlic, and compared it with the set threshold of the full bin to ascertain whether the collection bin was indeed full. Fault diagnosis was performed by the Hall sensor, which collected the rotational speed of the follower wheel of the clamping and conveying mechanism and compared it with the set threshold to judge whether a blockage occurrs. The maximum error value of the row assist module, as determined through indoor commissioning, was 1.3°. The minimum error value was 0.2°. The yield detection module monitoring count accuracy was 96.7%. The fault diagnosis module identified the average error value of rotational speed as 0.8 r/min, with an error rate of 0.4%. This enabled the module to accurately monitor the follower wheel rotational speed changes when the clamping device was blocked. The results of the field test demonstrate that the designed monitoring system is feasible,

accurate and stable. The findings of this study indicate that the proposed monitoring system can operate reliably over an extended period, issuing timely alerts when the garlic harvester is exhibiting signs of yawing, overflowing, and blocking issues. This could markedly enhance the operational quality and efficiency of traditional garlic harvesters.

Keywords: garlic; harvester; row assist; real-time monitoring; threshold

Foundation items: National Key R&D Program of China(2017YFD0701302); Jiangsu Province Demonstration and Promotion Project of Modern Agricultural Machinery Equipment and Technology(NJ2021-12,NJ2022-09)

First Author: WANG Yongjian,E-mail: yjwang@njau.edu.cn

* **Correspondence Author:** LI Hua,E-mail: lihua@njau.edu.cn